

# PENGENDALIAN PEKERJAAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL INTERCHANGE BANDARA ADI SOEMARMO SOLO

Oleh: Singgih Subagyo<sup>1</sup>, Nurokhman<sup>1</sup>, Danang Nur Wijaya<sup>2</sup>  
E-mail: [singgihsubagyo@gmail.com](mailto:singgihsubagyo@gmail.com)<sup>1</sup>, [nurokhman.jogja@gmail.com](mailto:nurokhman.jogja@gmail.com)<sup>2</sup>

**Abstrak:** Alternatif untuk mengatasi kemacetan jalan adalah penyediaan jalan tol dan salah satunya Jalan Tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo sebagai akses transportasi Salatiga-Kartasura. Dalam pelaksanaan untuk menjamin pemenuhan standar spesifikasi perkerasan kaku yang ditentukan maka dimonitoring melalui pengujian lapangan dan laboratorium PT.Waskita Beton Precast Plant Solo. Tujuan studi untuk mengetahui parameter pengujian perkerasan kaku, dan menganalisis hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium baik pada material bahan susun, campuran dan mutu akhir betonperkerasan kaku. Data diambil dari pengujian yang telah dilakukan oleh kontraktor dan pengamatan langsung di lapangan.

Hasil analisis pengamatan pengujian pekerjaan perkerasan kaku menunjukkan telah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Nilai CBR subgrade hasil pengujian DCP mencapai 6,07% - 8,23%, nilai kepadatan tanah melalui pengujian sand cone pada subgrade mencapai 95,1% - 95,5%, pada top subgrade mencapai 100,5% - 102,1%, dan pada LPA mencapai 100,1% - 102,9%, dan untuk nilai pengujian CBR lapangan pada top sub grade mencapai 14% - 15,44%, sehingga semua pengujiannya telah memenuhi persyaratan sesuai dengan spesifikasi teknis yang disyaratkan. Kualitas beton yang digunakan pada lean concrete yaitu beton Kelas E (setara K-125) dengan nilai kuat tekan karakteristik yang dicapai yaitu 140,34 kg/cm<sup>2</sup> sehingga untuk kualitas beton pada leanconcrete telah memenuhi persyaratan, karena kekuatan karakteristik yang dicapai melebihi yang disyaratkan. Kualitas beton digunakan pada perkerasan kaku (rigid pavement) yaitu Kelas P(fs45) dengan nilai kuat lentur karakteristik yang dicapai yaitu 63,69 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga untuk kualitas beton pada perkerasan kaku telah memenuhi yang disyaratkan.

**Kata kunci:** rigid pavement, jalan tol, CBR, beton.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam dekade ini, pemerintah telah memfokuskan pembangunan infrastruktur dan salah satunya pembangunan jalan tol untuk mengurangi kemacetan transportasi sekaligus meningkatkan perekonomian daerah. Pembangunan jalan tol di kawasan strategis merupakan upaya mempercepat aksesibilitas terutama dalam transportasi dan bisnis sehingga lebih efisien. Pemerintah sedang mewujudkan program infratraktur jalan tol Trans-Jawa untuk menghubungkan wilayah Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur yang merupakan ruas tol Cikampek-Palimanan, tol Pejagan-Malang, tol Tegal-Pemalang-Batang-Semarang-Solo-Yogyakarta, tol Solo-Ngawi-Kertosono-Jombang-Mojokerto-Surabaya.

Pengendalian mutu menjadi salah satu hal penting dalam target hasil pekerjaan konstruksi jalan tol dan salah satunya pada pekerjaan perkerasan kaku (rigid pavement) yang sesuai dengan spesifikasi agar laik fungsi sesuai umur rencana. Pada pembangunan jalan tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo khususnya pada Sta.0+300 s/d Sta.0+575 menjadi salah satu pengamatan penyusun dalam pekerjaan perkerasan kaku.

<sup>1)</sup> adalah Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta

<sup>2)</sup> adalah Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta

## 1.2. Tujuan

Tujuan penelitian pada proyek pembangunan jalan tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo, (Sta.0+300 s/d Sta.0+575) ini untuk mengetahui parameter, metode kerja pekerjaan perkerasan kaku (rigid pavement), dan menganalisis hasil pengujian pelaksanaan pekerjaan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Perkerasan jalan

Salah satu komponen penting dalam pemenuhan kelancaran pergerakan lalu lintas adalah perkerasan jalan. Secara umum lapis perkerasan jalan ada 3 jenis, yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan komposit. Perkerasan komposit adalah kombinasi dari perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Perkerasan jalan umumnya terdiri dari lapisan tanah dasar (subgrade), lapisan pondasi bawah (subbasecourse), lapisan pondasi atas (basecourse), dan lapisan permukaan (surfacecourse).

### 2.2. Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Perkerasan kaku adalah lapisan struktur jalan beton dengan bahan campuran semen portland, pasir, kerikil dan bahan tambah. Pada konstruksi perkerasan kaku, struktur utama adalah pelat beton yang setara dengan susunan lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan yang juga sebagai lapis perkerasan lentur.

Dalam pengecoran beton tersebut karena sifatnya yang cepat mengeras dan pengecorannya tidak dapat menerus serta untuk mengantisipasi terjadi penyusutan yang berakibat retak maka perlu dilakukan sambungan beton (joint) dengan jarak sesuai kondisi lapangan. Karena perkerasan kaku merupakan struktur yang langsung menerima beban kendaraan, maka ketebalan dan mutunya diperhitungkan dari beban kendaraan yang akan lewat sehingga pengendalian mutu mulai dari job mix design hingga penggelaran cor beton perlu ketat dilakukan.

#### 2.2.1. Jenis Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku dibedakan menjadi 4 jenis yaitu sebagai berikut:

1. Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan.  
Perkerasan pelat beton berukuran mendekati bujur sangkar, dengan pelaksanaan cor beton dibatasi cetakan sebagai sambungan yang juga sekaligus mencegah retak beton. Ukuran lebar 1 lajur dengan panjang bisa 4-5 m. Karena lapisan ini tidak menggunakan tulangan, maka antar sambungan agar tetap terikat digunakan tualngan dowel dan tulangan pengikat (tiebar).
2. Perkerasan Beton Bersambung Dengan Tulangan.  
Perkerasan pelat beton diberi tulangan pelat yang ukuran pelatnya berbentuk persegi panjang dimana, panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat berkisar antara 8-15 m.
3. Perkerasan Beton Menerus Dengan Tulangan  
Perkerasan pelat beton dengan diberi tulangan. Pelat beton menerus yang hanya dibatasi adanya sambungan-sambungan muai melintang. Panjang pelat beton lebih dari 75 .
4. Perkerasan Beton Prategang  
Perkerasan kaku berupa panel-panel beton pracetak yang kemudian dipasang di lapangan dengan diberi tegangan (stressing) dalam arah memanjang jalan. Tegangan pratekan berkisar 150-300 psi pada arah memanjang dan 0-200 psi pada arah melintang. Setelah dilakukan prategang kemudian kabel prategang diisi adukan beton yang cepat mengeras dengan cara grouting dan stressing pocket.

Sambungan joint ini berfungsi selain untuk mendistribusikan beban yang diterima pelat yang satu ke segmen yang lain, sehingga tidak terjadi pergeseran tempat dan sekaligus mengurangi retak susutan, serta retak akibat beban kendaraan.

Desain ukuran joint pelat tergantung pada kondisi arah melintang dan memanjang jalan. Mekanisme penyambungan joint pelat menjadi faktor yang penting sehingga pengendalian penyambungan joint menjadi penting agar lapisan mempunyai berfungsi meningkatkan masa layanan dengan waktu lebih panjang.

### 2.2.2. Fungsi Lapis Perkerasan

Agar perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi tetap ekonomis, maka perkerasan jalan raya dibuat berlapis-lapis. Lapis perkerasan dibuat berlapis-lapis yang bertujuan untuk menerima beban kendaraan yang melaluinya dan meneruskan ke lapisan bawah. Lapisan paling atas disebut lapis permukaan. Lapis permukaan merupakan lapisan yang baik mutunya dan semakin ke bawah mutu kualitasnya semakin berkurang. Karena lapisan yang semakin ke bawah lebih sedikit menahan beban, atau menahan beban lebih ringan.

Pekerasan beton yang kaku dan memiliki elastisitas yang tinggi, maka akan mendistribusikan beban kebidang tanah dasar yang cukup luas sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur diperoleh dari pelat beton itu sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan beton diperoleh dari tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan. Karena yang paling penting adalah mengetahui kapasitas struktur yang menanggung beban, maka faktor yang paling diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton semen adalah kekuatan beton itu sendiri (KIMPRASWIL.2002).

Lapisan perkerasan kaku dibagi menjadi beberapa bagian yaitu pelat beton (*concrete slab*), lapisan pondasi bawah, lapisan pondasi agregat dan tanah dasar (*subgrade*).

1. Lapisan Pelat Beton (*ConcreteSlab*). Lapisan pelat beton terbentuk dari campuran semen, air, dan agregat. Bahan-bahan yang digunakan untuk pekerjaan beton harus diuji terlebih dahulu dan harus bersih dari bahan-bahan yang merugikan seperti lumpur, minyak, bahan organik, dll.
2. Lapisan Pondasi Bawah (*SubbaseCourse*). Lapisan pondasi bawah dapat berupa bahan berbutir agregat atau bahan pengikat seperti semen dan kapur. Lapisan pondasi bawah tidak dimaksudkan untuk ikut menahan beban lalu lintas, tetapi lebih berfungsi sebagai lantai kerja (*lean concrete*). Fungsi dari lapisan pondasi bawah yaitu (a) Menyediakan lapisan yang seragam, stabil, dan permanen sebagai lantai kerja (*working platform*), (b) Mengurangi kemungkinan terjadinya retak-retak pada pelatbeton, (c) Menghindari terjadinya *pumping*, yaitu keluarnya butiran-butiran halus tanah bersama air pada daerah sambungan, retakan, atau pada bagian pinggir perkerasan, akibat lendutan atau gerakan vertikal pelat beton karena beban lalu lintas.
3. Lapis Pondasi Agregat (LPA). Material lapis pondasi agregat harus dipilih dari suatu sumber yang disetujui oleh Kosultan. Terdapat 2 fraksi agregat yang digunakan untuk lapis pondasi agregat, yaitu yaitu fraksi agregat kasar untuk agregat yang tertahan pada saringan 4,75 mm yang harus terdiri dari partikel yang keras dan pecahan- pecahan dari batuan dan kerikil, dan fraksi agregat halus yang lolos saringan 4,75 yang harus terdiri dari pasir alam. Seluruh lapisan pondasi agregat harus bebas dari bahan tumbuh-tumbuhan (*organis*) dan gumpalan-gumpalan tanah liat. Pemadatan lapis pondasi agregat harus mencapai kepadatan paling sedikit 100% dari kepadatan kering maksimum.
4. Tanah Dasar (*Subgrade*). Persyaratan tanah dasar untuk perkerasan kaku sama dengan perkerasan lentur, baik mengenai daya dukung, kepadatan, maupun kerataannya. Daya dukung ditentukan dengan pengujian CBR lebih kecil dari 2%, maka harus dipasang lapisan pondasi bawah.

### 2.3. Pelaksanaan Pekerjaan Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku dapat dikonstruksi di atas lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar.

### 2.3.1. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan bagian dari pekerjaan yang dipersiapkan untuk dasar lapis pondasi bawah (*subbase*) atau jika tidak terdapat *subbase*, untuk dasar lapis pondasi atas (*base*) dari perkerasan. Tanah dasar harus tetap dalam kondisi stabil dengan kadar air konstan, oleh karena itu tanah dasar harus dipadatkan sesuai dengan spesifikasi yang diminta, agar kemungkinan terjadinya penurunan tak seragam akibat beban kendaraan dapat diperkecil.

### 2.3.2. Lapisan Pondasi Agregat (LPA)

Pekerjaan LPA ini umumnya meliputi tahap pengadaan material, proses pekerjaan, mobilisasi material, penghamparan, pembasahan/penyiraman, pemadatan dengan alat berat sesuai spesifikasi teknis yang ditentukan melalui pengujian sandcone.

### 2.3.3. Lean Concrete (LC)

Pekerjaan lean concrete ini meliputi persiapan lapisan alas dengan ukuran tertentu, penyediaan agregat dan bahan ikat, pencampuran, pengadukan, penangkutan, penuangan, pemadatan, finishing, dan perawatan. Semua pekerjaan harus dilaksanakan sesuai dengan gambar rencana yang disetujui, spesifikasi teknis yang ditentukan.

### 2.3.4. Material Perkerasan Kaku

Lapisan perkerasan kaku berupa struktur pelat beton bertulang berfungsi struktural jalan sekaligus lapisan aus sehingga harus mempunyai kekuatan yang besar dan mutu yang tinggi sesuai spesifikasi teknis yang ditentukan. Sebagai lapisan aus maka permukaan harus rata dengan baik agar aman dan nyaman dilalui oleh kendaraan dalam segala macam cuaca. Untuk mendapatkan proporsi campuran harus dilakukan percobaan campuran (*trial mix*) sesuai yang telah ditentukan dalam spesifikasi teknis pasal S10.01. Standar proporsi campuran beton untuk struktur disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Standar Proporsi Campuran Beton untuk Struktur.

Standar Kuat Tekan	Kelas E	Kelas P
Ukuran Maksimum Agregat Kasar (mm)	40	25
Slump (cm) <sup>2</sup>	5,0+2,5	Max 5
Perbandingan semen/air W/C (%)	78.0	40,0
Kadar Air C(kg/m <sup>3</sup> )	157	160
Kadar Semen C (kg/m <sup>3</sup> )	178	400
Agregat Halus S (kg/m <sup>3</sup> )	896	791
Agregat Kasar G (kg/m <sup>3</sup> )	1187	1077

Sumber : Spesifikasi Umum Jalan Tol

Beton yang digunakan untuk *rigid pavement* adalah beton kelas P, sedangkan untuk *lean concrete* (LC) menggunakan mutu beton kelas E.. Nilai kuat lentur dalam pelaksanaan umur beton 28 hari tidak boleh kurang dari kekuatan minimum sesuai kelas betonnya. Kuat lentur minimum pada umur 7 hari disyaratkan 80% dari kekuatan minimum beton tersebut.

Tabel 2.2. Kuat Lentur Beton.

Kuat Tekan URAIAN	A-1	A-2	B-1	B-2	C	D	E	AA	P
Kuat tekan minimum pada umur 28 hari dengan tes kubus (MPa)	50	40	35	35	25	15	-	60	-
Kuat tekan minimum pada umur 28 hari dengan tes silinder (MPa)	40	35	30	30	20	15	-	50	-
Kekuatan lentur minimum dalam 28hari (MPa)	-	-	-	-	-	-	-	-	45

Sumber : Spesifikasi Umum Jalan Tol

Baja tulangan untuk jalur kendaraan harus berupa anyaman baja atau tulangan profil. Tulangan anyaman baja harus sesuai dengan persyaratan dari AASHTO M 55, tulangan ini berupa lembar an-lembaran datar dan merupakan suatu jenis yang disetujui. Batang baja untuk ruji (*dowel*) harus berupa batang bulat biasa sesuai dengan AASHTO M 31. Batang *dowel* berlapis plastic yang memenuhi AASHTO M 254 dapat digunakan. Dan untuk batang pengikat (*tie bar*) harus berupa batang baja berulir sesuai dengan AASHTO M31. Bahan-bahan pengisi siar muai harus sesuai dengan persyaratan- persyaratan AASHTO M 153 atau M 213. Bahan-bahan tersebut harus dilubangi untuk dilalui *dowel-dowel*.

## 2.4. Pengendalian Mutu

Sebagai upaya agar mutu konstruksi yang dihasilkan sesuai dengan Rencana Kerjadan Syarat-syarat(RKS) maka dilakukan pengendalian mutu yang dilakukan pada setiap tahap proses pekerjaan baik di laboratorium maupun di lapangan sehingga diharapkan standar pekerjaan terpenuhi. Pada pengendalian mutu pekerjaan rigid pavement dimulai sejak penyiapan material, proporsi pencampuran hingga uji coba mutu kuat tekan dan kuat lenturnya. Setiap tahap pengujian dan pemeriksaan harus disetujui dan diketahui oleh pihak yang berwenang yang akan menunjukkan pertanggung jawaban dari kontraktor, produsen ready mix beton, dan sipplayer material sehingga dapat diterima oleh pemilik. Oleh karena itu sebelum pelaksanaan di lapangan maka kontraktor, penghasil beton, dan pemasok bahan dasar harus mengambil sampel, melakukan pengujian dan hasil pengujian yang dikontrol oleh pengawas untuk menentukan diterima atau ditolak. Pengujian di lapangan pada saat pekerjaan rigid pavement antara lain pengujian slump, perawatan, pengujian kuat tekan dan kuat lentur. Kapan pengambilan sampel, jumlah sampel, persyaratannya telah dituangkan, sehingga upaya hasil mutu beton rigid pavement dapat berfungsi sesuai umur rencana dan memberikan kenyamanan pengguna jaan tol.

### 2.4.1. Pengujian Beton

#### 1. Slump

Pengujian *slump* beton sesuai dengan SNI03-1972-1990 dilakukan terhadap beton segar yang mewakili campuran beton. Pengujian ini digunakan untuk pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembetonan. Pengambilan benda uji harus dari contoh beton segar

yang mewakili campuran beton di lapangan. Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas dan cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Pengambilan contoh bahan sesuai dengan SNI 03-4810-1998 yang menjadi dasar penerimaan atau penolakan bahan tersebut harus dilakukan dengan cara teliti sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Ketelitian dalam pengujian tidak akan memberikan informasi yang benar bila contoh-contoh diambil secara ceroboh dan tidak mewakili keseluruhan bahan. Nilai *Slump* Beton untuk Kelas E adalah . 5+2,5 cm, dan Kelas P adalah Max 5 cm

## 2. Curing

Curing atau perawatan beton setelah dicetak sebagai sampel benda uji berbentuk silinder beton/kubus yang mulai mengeras agar beton tidak cepat kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembaban/ temperatur beton untuk proses hidrasi sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang direncanakan. Dalam Tatacara pembuatan dan perawatan specimen uji beton di lapangan menurut ASTM C31-10, IDT disebutkan perawatan awal setelah pencetakan dan finishing harus disimpan maksimum 48 jam dengan temperature 16-27° C. Cara perawatan di lapangan dapat dilakukan dengan direndam, disirami, ditutup dengan plastic, atau dilindungi dari terik matahari.

## 3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beban beton adalah kemampuan beton dalam menahan besarnya beban per satuan luas yang diukur hingga dibebani maksimal melalui mesin uji tekan. Kuat tekan dihitung terhadap beban yang mampu ditahan masing-masing setiap benda uji (P) dibagi dengan luas permukaan benda uji yang ditekan (A), sehingga diperoleh kuat tekan beton maksimum.

$$f_c = P / A \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :  $f_c$  = kuat tekan beton (MPa)  
 P = beban maksimum (N)  
 A = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

## 4. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton (*Modulus Of Rupture*) jika keruntuhan pada tengah bentang dihitung dengan persamaan

$$F_s = PL / bd^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan jika keruntuhan berada di luar tengah bentang dihitung dengan persamaan

$$F_s = 3Pa / bd^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :  $F_s$  = kuat lentur  
 P = beban maksimum yang terjadi  
 L = panjang bentang  
 b = lebar benda uji  
 d = tinggi benda uji  
 a = jarak rata2 dari garis keruntuhan dan titik perletakan terdekat diukur pada bagian tarik benda uji

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi

Penelitian ini dilakukan di proyek pembangunan jalan Tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo, (Sta0+300 s/d Sta0+575) yang terletak di Desa Mangu, Kabupaten Boyolali.

#### 3.2. Data

Jenis data pokok yang menjadi analisis anatara lain terkait tanah dasar (subgrade), agregat pada lapis pondasi agregat (Ipa), pasir yang digunakan untuk pengujian sand cone, karbit yang digunakan untuk pengujian speedy, pengujian slump test, beton kelas e, beton kelas p, sampel beton kelas e umur 7 hari dan 28hari, dan sampel beton kelas p umur 7 hari dan 28 hari. Pengumpulan data primer dan sekunder baik melalui observasi , interview dan dokumentasi. Data sekunder untuk pustaka dari sumber referensi, artikel, jurnal, dan dokumen proyek terutama laporan hasil quality control beton rigid pavemen.

### 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengujian Tanah Dasar

Tanah dasar atau *subgrade* yang akan digunakan untuk perkerasan kaku terlebih dahulu dilakukan pengujian daya dukung tanah. Pengujian daya dukung tanah dasar dapat dilakukan dengan cara pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* untuk mengetahui nilai CBR *subgrade*. Pada proyek ini tanah dasar yang digunakan yaitu tanah timbunan. Nilai *California Bearing Ratio (CBR)* minimum untuk *subgrade* pada perkerasan jalan sebesar 6%. Proses pemadatan tanah timbunan harus 100% saat mencapai *top subgrade*. Ketika pemadatan akhir pada *top subgrade* selesai dilaksanakan, maka tanah tersebut harus dilakukan uji *sand cone*, jika uji sand cone pada tanah tersebut telah memenuhi syarat, *top subgrade* diuji dengan *proof rolling*.

#### 4.2. Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

Pengujian DCP mencatat data masuknya konus ke dalam tanah untuk setiap pukulan dari palu. Pengujian DCP ini digunakan untuk menentukan nilai CBR tanah asli. Nilai CBR pada tanah dasar (*subgrade*) harus lebih besar dari 6%. Pengujian DCP Sta. 0+575, nilai SPP di tumbukan ke-1= kumulatif sesudah penetrasi – kumulatif awal penetrasi = 80 – 0 = 80 mm. Nilai CBR di tumbukan ke-1 (Konus 60°) adalah:

$$\text{Log CBR} = 2,8135 - (1,313 \times (\text{Log SPP})),$$

$$\text{CBR} = 10 \cdot (2,8135 - 1,313 \times (\text{Log SPP})) = 10 \cdot (2,8135 - (1,313 \times (\text{Log } 80))) = 2,06\%$$

Hasil Pengujian DCP pada:

- Sta.0+500 sampai dengan Sta 0+575 Nilai CBR point =  $(1831,97/985)^3 = 6,43\%$ ;
- Sta.0+525 Nilai CBR point = 6,07% ;
- Sta.0+550 Nilai CBR point = 8,23% ; dan
- Sta.0+575, nilai CBRPoint =7,70% .

Dari hasil perhitungan tersebut menunjukkan hasil CBR lebih besar dari 6% yang berarti memenuhi syarat.

### 4.3. Pengujian Sand Cone

Pengujian *sand cone* bertujuan untuk menentukan kepadatan tanah di lapangan. Kepadatan pada *subgrade* harus mencapai 95%, dan pada saat mencapai *top subgrade* kepadatan harus mencapai 100%. Kadar air optimum lab OMC ( $W_{optimum} = 39\%$ ). berat isi kering Max lab ( $\gamma_{Dmax} = 1,095 \text{ gr/cm}^3$ ), kalibrasi berat pasir dalam corong 1816 gr dan 1801gr, dan berat isi pasir ( $\gamma_p = 1,353$ ). Pengujian *Sand Cone* Layer 1 Sta.54+200 persen kepadatan kering= $(\text{Berat isi tanah kering}) / (\text{Berat isi kering Max lab}) \times 100\% = (1,042/1,095) \times 100\% = 95,2\%$ .

Tabel 4.1. Hasil Analisis Pengujian Sand Cone Layer 1.

No	Uraian	STA	54+200	54+225	54+250	54+275
		L/CL/R	R	R	R	R
		Layer	1	1	1	1
1.	Berat pasir + botol + corong (sebelum)	gr	7346	7429	7355	7397
2.	Berat sisa pasir + botol + corong (sesudah)	gr	2486	2417	2395	2460
3.	Berat pasir di dalam corong & lubang (no 1-2)	gr	4860	5012	4960	4937
4.	Berat pasir dalam corong*	gr	1816	1801	1816	1801
5.	Berat pasir dalam lubang (no 3-4)	gr	3044	3211	3144	3136
6.	Berat isi pasir $\gamma_p$	gr	1,353	1,353	1,353	1,353
7.	Volume lubang (no 5/6)	cm <sup>3</sup>	2249,8	2373,2	2323,7	2317,8
8.	Berat tanah basah + plastik	gr	3256	3401	3378	3355
9.	Berat plastik	gr	10	10	10	10
10.	Berat tanah basah (no 8-9)	gr	3246	3391	3368	3345
11.	Berat isi tanah basah (no 10/7)	gr/cm <sup>3</sup>	1,443	1,429	1,449	1,443
12.	Kadar air (speedy test)	%	38,4	36,8	39,2	38,0
13.	Berat isi tanah kering (no 11/(1+(12/100)))	gr/cm <sup>3</sup>	1,042	1,044	1,041	1,046
14.	Kadar air optimum lab (OMC)	%	39,00	39,00	39,00	39,00
15.	Berat isi kering Max lab	gr/cm <sup>3</sup>	1,095	1,095	1,095	1,095
16.	Persen kepadatan kering (no 13/15)x100	%	95,2	95,4	95,1	95,5

Tabel 4.2. Hasil Analisis Pengujian Sand Cone Top Layer.

No	Uraian	STA	54+200	54+225	54+250	54+275
		L/CL/R	R	R	R	R
		Layer	TOP	TOP	TOP	TOP
1.	Berat pasir + botol + corong (sebelum)	gr	7423	7392	7358	7388
2.	Berat sisa pasir + botol + corong (sesudah)	gr	2679	2543	2660	2432
3.	Berat pasir di dalam corong & lubang (no 1-2)	gr	4744	4849	4698	4956



No	Uraian	STA	54+200	54+225	54+250	54+275
		L/CL/R	R	R	R	R
		Layer	TOP	TOP	TOP	TOP
4.	Berat pasir dalam corong*	gr	1816	1801	1816	1801
5.	Berat pasir dalam lubang (no 3-4)	gr	2928	3048	2882	3155
6.	Berat isi pasir $\gamma_p$	gr	1,353	1,353	1,353	1,353
7.	Volume lubang (no 5/6)	cm <sup>3</sup>	2164,1	2252,8	2130,1	2331,9
8.	Berat tanah basah + plastic	gr	3310	3436	3264	3571
9.	Berat plastic	gr	10	10	10	10
10.	Berat tanah basah (no 8-9)	gr	3300	3426	3254	3561
11.	Berat isi tanah basah (no 10/7)	gr/cm <sup>3</sup>	1,525	1,521	1,528	1,527
12.	Kadar air (speedy test)	%	36,4	38,2	38	37,8
13.	Berat isi tanah kering (no $11/(1+(12/100))$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,118	1,100	1,107	1,108
14.	Kadar air optimum lab (OMC)	%	39,00	39,00	39,00	39,00
15.	Berat isi kering Max lab	gr/cm <sup>3</sup>	1,095	1,095	1,095	1,095
16.	Persen kepadatan kering (no $13/15 \times 100$ )	%	102,1	100,5	101,1	101,2

#### 4.4. Pengujian California Bearing Ratio (CBR) Lapangan

Pengujian lapangan ini digunakan untuk mendapatkan nilai CBR langsung di tempat yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan maupun lapis tambah perkerasan dilakukan dengan bantuan truk sebagai penahan beban penetrasi. Nilai CBR minimum untuk *subgrade* pada perkerasan jalan sebesar 6%. Pengujian CBR Top Subgrade Sta.0+500, kalibrasi alat *proving ring* (cincin penguji) yaitu 10,7235lbs. Beban pada pengujian CBR *top subgrade*. Pada Sta.54+200 pada penurunan 0,0125, sehingga beban  $\approx 97$  lbs.

Hasil Analisis Pengujian CBR Lapangan Sta.0+500, nilai CBR 0,1 inch dan 0,2 inch dengan grafik diperoleh sehingga CBR 0,1 inch = 13,20% , CBR 0,2inch = 14,00 %. Hasil Analisis Pengujian CBR Lapangan Sta.0+525, nilai CBR 0,1 inch = 13,43 % , CBR 0,2 inch = 15,15 %. Hasil Analisis Pengujian CBR Lapangan Sta.0+550 nilai CBR 0,1 inch = 15,09% , CBR 0,2 inch= 15,44%. Nilai CBR lapangan pada top subgrade Sta. 0+550. adalah 15,44% dengan demikian sudah memenuhi syarat minimal nilai CBR 6% ditentukan sesuai dengan AASHTO T99.

#### 4.5. Pengujian Proof Rolling

Pengujian *proof rolling* adalah pengujian visual dengan menggunakan *dump truck* yang diberi muatan, sehingga beban keseluruhan pada *dump truck* adalah  $\pm 12$  ton. *Dump truck* akan melintasi *top subgrade* yang sudah diuji *sand cone* sebelumnya, jika tanah yang dilewati tidak mengalami kenaikan atau lendutan ke bawah yang signifikan, maka *top subgrade* memenuhi persyaratan dan dapat dilanjutkan pekerjaan penghamparan lapis pondasi agregat.

#### 4.6. Pengujian Sand Cone

Pengujian *sand cone* bertujuan untuk menentukan kepadatan material di lapangan. Kepadatan material pada lapis pondasi agregat (LPA) harus mencapai 100%. Data kadar air optimum lab OMC ( $W_{\text{Optimum}} = 10,80\%$ ), berat isi kering Max lab ( $\gamma_{D_{\text{max}}} = 1,937 \text{ gr/cm}^3$ ), berat jenis tanah /agregat ( $G_s = 2,596 \text{ gr/cm}^3$ ), kalibrasi berat pasir dalam corong 1774 gr dan 1801 gr dan berat isi pasir ( $\gamma_p = 1,353$ ).

Hasil pengujian *Sand Cone* LPA.

- 1) Nilai berat pasir di dalam corong & lubang (No.3) =  $7387 - 2875 = 4512 \text{ gr}$
- 2) Nilai berat pasir dalam lubang (No.5) =  $4512 - 1816 = 2738 \text{ gr}$
- 3) Nilai volume lubang (No.7) =  $2738 / 1,353 = 2023,7 \text{ cm}^3$
- 4) Nilai berat tanah basah (No.10) =  $4653 - 10 = 43 \text{ gr}$ .
- 5) Nilai berat isi tanah basah (No.11) =  $4643 / 2023,7 = 2,294 \text{ gr/cm}^3$
- 6) Nilai berat isi tanah kering (No.13) =  $2,294 / (1 + 8,6/100) = 2,113 \text{ gr/cm}^3$
- 7) Persentase tanah yang tertahan ayakan No.3/4 =  $1320 / 4643 = 0,284\%$
- 8) Nilai berat isi maksimum terkoreksi (No.19) =  $2,076 \text{ gr/cm}^3$
- 9) Kepadatan kering maksimum =  $2,113 / 2,076 \times 100 = 1,8 \%$

#### 4.7. Pengujian Pekerjaan *Lean Concrete* (LC)

*Lean concrete* adalah lapisan dasar pondasi bawah untuk mengurangi terjadinya *pumping* kendali terhadap pengembangan dan susutan pada tanah untuk mempercepat pekerjaan konstruksi agar kondisi dasar dasar pelat beton rata. Lapis pondasi bawah atau *lean concrete* ini menggunakan mutu beton kelas E yang dicor setebal 10 cm dari permukaan tanah. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai lantai kerja bagi perkerasan kaku agar elevasi perkerasan kaku tidak memiliki perbedaan yang sangat signifikan.

#### 4.8. Pengujian *Slump Test*

Uji *slump test* untuk mengetahui kekentalan beton dalam workabilitas pekerjaan beton. Standar alat dengan kerucut *Abrams* ukuran diameter bagian bawah 20 cm, diameter bagian atas 10 cm dan tinggi 30 cm. Penuangan ke dalam kerucut *Abrams* secara bertahap tiga lapis dan ditusuk 25 kali setiap tahap supaya merata dan padat dengan batang besi diameter 16 mm panjang 60 cm. Setelah terisi penuh dengan beton maka kerucut tersebut ditarik vertical secara pelan-pelan, lalu diukur penurunan yang terjadi pada tinggi beton tersebut, penurunan yang terjadi akan menjadi nilai *slump* pada beton. Hasil nilai *slump* berkisar yaitu 5+2,5 cm yang berarti memenuhi syarat nilai *slump* beton kelas E yang digunakan untuk pengecoran *lean concrete* (LC).

#### 4.9. Pengujian Kuat Tekan

Data benda uji untuk LC Kelas beton E (mutu beton K-125), *slump* maksimum 5+2,5 cm. Benda uji silinder ukuran Dia 15 cm, dan tinggi 30 cm. Pelaksanaan pengujian benda uji dilakukan di PT.Waskita Beton Precast. Pekerjaan yang disaksikan dan diamati secara visual oleh konsultan dari PT.Eskapindo Matra. Data pembebanan yang dilakukan di laboratorium PT.Waskita Beton Precast Plant Solo.

Dalam penelitian ini diambil hanya beberapa sampel yang dapat dipantau langsung oleh peneliti di laboartorium.

Tabel 4.3. Data Pembebanan Benda Uji Silinder *Lean Concrete*.

No	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (kg)	Beban (P)	
	Pembuatan	Pengujian			(kN)	(kg)
1.	05-Sept-20	12-Sept-20	7	12,60	145,70	14857,17
2.	05-Sept-20	12-Sept-20	7	12,50	150,10	15305,85
3.	05-Sept-20	03-Okt-20	28	12,60	200,90	20485,97
4.	05-Sept-20	03-Okt-20	28	12,50	211,80	21597,46

Catatan : 1 kN = 101,971 kg

Tabel 4.4. Hasil Kuat Tekan Beton Silinder Umur 28 Hari.

No	Tanggal		Umur (Hari)	Kuat Tekan kg/cm <sup>3</sup>	Faktor Koreksi	Kuat Tekan Umur 28 Hari kg/cm <sup>3</sup>
	Pembuatan	Pengujian				
1.	05-Sept-20	12-Sept-20	7	84,12	0,70	119,62
2.	05-Sept-20	12-Sept-20	7	86,66	0,70	123,23
3.	05-Sept-20	03-Okt-20	28	115,99	1,00	115,99
4.	05-Sept-20	03-Okt-20	28	122,28	1,00	122,28

Dalam spesifikasi ditentukan mutu beton LC adalah K125 yang merupakan nilai pengujian dengan kubus (15x15x15 cm<sup>3</sup>) sehingga hasil pengujian silinder perlu dikonversi terhadap kubus dengan nilai konversi dari mutu beton kelas f'c ke beton K adalah 0,83.

Tabel 4.5. Hasil Konversi Kuat Tekan Silinder ke Kubus.

No	Umur	Kuat Tekan Silinder 15cm x 30cm	Kuat Tekan Kubus 15cm x 15cm x 15cm
	(Hari)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1.	28	119,62	144,12
2.	28	123,23	148,47
3.	28	115,99	139,74
4.	28	122,28	147,32
Rata-Rata Kuat Tekan Kubus			144,91

Setelah kuat tekan silinder dikonversi ke kuat tekan kubus, selanjutnya menghitung kuat tekan rata-rata dari benda uji yang telah dibuat untuk menentukan kuat tekan karakteristik. Dengan mempertimbangan standar deviasi = 3,91, maka kuat tekan karakteristik beton adalah

$$K = 144,91 - (1,17 \times 3,91) = 140,34 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu beton pada *lean concrete* (LC) pada proyek pembangunan jalan tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo sta 0+300 s/d 0+575 sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan, yaitu mutu beton K-125, karena nilai kuat tekan karakteristik lebih besar dari tegangan minimum yang disyaratkan ( $140,34 \text{ kg/cm}^2 > 125 \text{ kg/cm}^2$ ).

#### 4.10. Pekerjaan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Pada pengujian kuat lentur  $F_s-45$  digunakan benda uji balok  $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ .. dengan nilai slump maksimum 5 cm dengan umur pengujian 7 hari dan 28 hari. Kuat lentur (*flexural strength*) minimum tidak boleh kurang dari  $45 \text{ kg/cm}^2$  pada umur 28 hari. Kuat lentur minimum pada umur 7 hari disyaratkan 80% dari kuat lentur (*flexural strength*) minimum beton tersebut.

Tabel 4.6. Data Pembebanan Benda Uji Balok.

No	Tanggal		Umur (Hari)	Berat (kg)	Ukuran Benda Uji (cm)			Jarak Perletakan (L)	Beban (P)	
	Pembuatan	Pengujian			Panjang (L1)	Lebar (b)	Tinggi (d)		(kN)	(kg)
1.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	32,80	15,00	15,00	15,00	45,00	30,90	3150,90
2.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	32,90	15,00	15,00	15,00	45,00	32,80	3344,65
3.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	33,10	15,00	15,00	15,00	45,00	33,70	3436,42
4.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	33,00	15,00	15,00	15,00	45,00	36,50	3721,94
5.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	33,00	15,00	15,00	15,00	45,00	48,60	4955,79
6.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	32,90	15,00	15,00	15,00	45,00	49,20	5016,97
7.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	33,10	15,00	15,00	15,00	45,00	50,70	5169,93
8.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	33,00	15,00	15,00	15,00	45,00	47,90	4884,41

Catatan : 1 kN = 101,971 kg

Pengujian kuat lentur beton dengan benda uji balok ukuran  $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$ , dengan jaran antar perletakan  $L=50 \text{ cm}$ .

Tabel 4.7. Hasil Analisis Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 7 Hari.

No	Tanggal		Umur (Hari)	Kuat Lentur Fs (kg/cm <sup>2</sup> )
	Pembuatan	Pengujian		
1.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	42,01
2.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	44,60
3.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	45,82
4.	20-Sept-20	27-Sept-20	7	49,63
Rata-Rata Kuat Lentur				45,51

Nilai kuat lentur rata-rata dari 4 (empat) benda uji balok yang diuji pada umur 7 hari diatas akan digunakan untuk menentukan kuat lentur karakteristik beton pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) . Dengan Mempertimbangkan perhitungan standar deviasi = 3,17, maka perhitungan kekuatan karakteristik beton umur 7 hari adalah:

$$F_s = X_o - X_r = 51 - (1,17 \times 3,17) = 41,08 \text{ kg/cm}^2$$

Hasil pengujian mutu beton pada umur 7 hari 41,08 kg/cm<sup>2</sup> . Berdasarkan spesifikasi beton perkerasan kaku yang disyaratkan, yaitu 80% dari kuat lentur minimum Fs 45 atau senilai 36 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan demikian hasil pengujian pada umur 7 hari sudah ememnuhi spesifikasi kuat lentur minimum yang dicapai yaitu 41,08 kg/cm<sup>2</sup> > 36 kg/cm<sup>2</sup>

Data pengujian kuat lentur beton perkerasan kakau pada umur 28 hari sesperti pada tabel dibawah.

Perhitungan kuat lentur beton Fs adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.8. Hasil Analisis Kuat Lentur Balok Umur 28 Hari.

No	Tanggal		Umur (Hari)	Kuat Lentur Fs (kg/cm <sup>2</sup> )
	Pembuatan	Pengujian		
1.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	66,08
2.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	66,89
3.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	68,93
4.	20-Sept-20	18-Okt-20	28	65,13
Rata-Rata Kuat Lentur				66,76

Nilai kuat lentur rata-rata dari 4 (empat) benda uji balok yang diuji pada umur 28 hari diatas akan digunakan untuk menentukan kuat lentur karakteristik beton pada perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Analisis perhitungan kuat lentur karakteristik beton pada umur beton 28 hari adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.9. Data Perhitungan Standar Deviasi Umur 28 Hari.

No	Kuat Lentur (kg/cm <sup>2</sup> ) (X)	(X-X)	(X-X) <sup>2</sup>
1.	66,08	0,68	0,46
2.	66,89	-0,14	0,02
3.	68,93	-2,18	4,73
4.	65,13	1,63	2,66
Jumlah			7,87

Maka standar deviasi umur 28 hari adalah  $S = \frac{\sqrt{(X_i - \bar{X})^2}}{N-1} = \frac{\sqrt{7,87}}{4-1} = 2,62$

Perhitungan kekuatan karakteristik beton umur 28 hari adalah:

$$F_s = 76 - (1,17 \times 2,62) = 63,69 \text{ kg/cm}^2$$

Dari data pengujian kuat lentur pada umur 28 hari di laboratorium PT.Waskita Beton Precast, nilai kuat lentur karakteristik yang dicapai yaitu sebesar 63,69 kg/cm<sup>2</sup>, oleh karena itu mutu beton pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada proyek jalan tol Semarang- Solo, seksi 4 ruas Salatiga-Kartasura, Jetis – Payungan Sta.54+195 s/d Sta.54+295 telah memenuhi syarat, karena kekuatan lentur karakteristik yang dicapai melebihi kuat lentur yang disyaratkan 45 kg/cm<sup>2</sup>. Rekap analisis hasil pengujian dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.10. Rekap pengujian perkerasan kaku (*rigid pavement*)

No	Jenis Pekerjaan	Kegiatan Utama	Hasil	Kriteria
1.	Persiapan Tanah Dasar	Pengujian DCP ( <i>Dynamic Cone Penetrometer</i> )	Sta. 0+500 = 6,43% Sta. 0+525 = 6,07% Sta. 0+550 = 8,23% Sta. 0+575 = 7,70%	CBR > 6 %
2.	Persiapan Tanah Dasar	Pengujian <i>Sand Cone Subgrade</i>	<u>Layer 1</u> Sta. 0+500 = 95,2% Sta. 0+525 = 95,4% Sta. 0+550 = 95,1% Sta. 0+575 = 95,5% <u>Top Layer</u> Sta. 0+500 = 102,1% Sta. 0+525 = 100,5% Sta. 0+550 = 101,1% Sta. 0+575 = 101,2%	$Y_k \geq 95\%$  $Y_k \geq 100\%$
3.	Persiapan Tanah Dasar	Pengujian CBR Lapangan Pada <i>Top Subgrade</i>	Sta. 0+500 = 14,00% Sta. 0+525 = 15,15% Sta. 0+550 = 14,29% Sta. 0+575 = 15,44%	CBR > 6 %
4.	Pekerjaan LPA (Lapis Pondasi Agregat)	Pengujian <i>Sand Cone LPA</i>	Sta. 0+500 = 101,8% Sta. 0+525 = 101,4% Sta. 0+550 = 100,1% Sta. 0+575 = 102,9%	$Y_k \geq 100\%$
5.	Pengujian Kekuatan Beton Pada <i>Lean Concrete (LC)</i>	Uji Kuat Tekan Beton	Kekuatan Karakteristik yang dicapai 140,34 kg/cm <sup>2</sup>	$f_k \geq 125$ kg/cm <sup>2</sup>
6.	Pengujian Kekuatan Beton Pada <i>Rigid</i>	Uji Kuat Lentur Beton	Kekuatan karakteristik yang dicapai 63,69 kg/cm <sup>2</sup>	$f_s \geq 45$ kg/cm <sup>2</sup>

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengamatan, pembahasan, dan analisis pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada proyek pembangunan jalan tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo, (Sta.0+300 s/d Sta.0+575) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Secara keseluruhan pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) di lapangan sudah sesuai spesifikasi teknis, yaitu diawali dengan pemadatan tanah dasar (*subgrade*), penghamparan LPA, pengecoran *lean concrete*, dan setelah itu baru dilakukan penghamparan *rigid*.
2. Berdasarkan analisis pengujian dalam pelaksanaan pekerjaan perkerasan kaku, nilai CBR *subgrade* hasil pengujian DCP mencapai 6,07% - 8,23%, nilai kepadatan tanah hasil pengujian *sand cone* pada *subgrade* mencapai 95,1% - 95,5%, pada *top subgrade* mencapai 100,5% - 102,1%, dan pada LPA mencapai 100,1%-102,9%, dan untuk nilai pengujian CBR lapangan pada *top sub grade* mencapai 14 % - 15,44% , sehingga semua pengujiannya telah memenuhi persyaratan sesuai dengan spesifikasi teknis yang disyaratkan.
3. Kualitas beton yang digunakan pada *lean concrete* yaitu beton Kelas E (setara K-125) dengan nilai kuat tekan karakteristik yang dicapai yaitu 140,34kg/cm<sup>2</sup> sehingga untuk kualitas beton pada *leanconcrete* telah memenuhi persyaratan, karena kekuatan karakteristik yang dicapai melebihi yang disyaratkan.

4. Kualitas beton digunakan pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu Kelas P(fs45) dengan nilai kuat lentur karakteristik yang dicapai yaitu 63,69 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga untuk kualitas beton pada perkerasan kaku telah memenuhi persyaratan, karena kekuatan karakteristik yang dicapai melebihi yang disyaratkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- , 2020, Dokumen teknis Proyek Jalan Tol Interchange Bandara Adi Soemarmo Solo, Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung. Artur Wignall, dkk., 2000, *Proyek Jalan Teori & Praktek*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Ari Suryawan, 2009, *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- Departemen KIMPRASWIL, 2002, *Pedoman Perencanaan Jalan Beton Semen*, Direktorat Jendral Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Solo Ngawi Jaya (SNJ), 2016, *Spesifikasi Umum*, Solo.
- SNI 03-1972-1990, *Tata Cara Uji Keleccakan Beton (Slump Test)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-4810-1998, *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji*, Badan Standrisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-1974-1990, *Tata Cara Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-4154-1996, *Tata Cara Pengujian Kuat Lentur Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNIPd-T-14-2003, *Tata Cara Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Ir.Mohamad Anas Aly, 2004, *Teknologi Perkerasan Jalan Beton Semen*, Yayasan Pengembang Teknologi dan Manajemen, Jakarta.
- <http://dpupr.grobogan.go.id/info/artikel/29-konstruksi-perkerasan-lentur-flexible-pavement>
- <http://azanurfauzi.blogspot.co.id/search?q=perkerasan+kaku>.

